

引用格式:贾宇,高鹏翔,李惠.广西某铜冶炼企业基于机器学习的远程驾驶渣包车应用研究[J].有色设备,2025,39(5):79-83.

JIA Yu, GAO Pengxiang, LI Hui. Research on application of machine learning based unmanned slag chartering in a copper smelting enterprise in Guangxi[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2025, 39(5): 79-83.

# 广西某铜冶炼企业基于机器学习的远程驾驶渣包车应用研究

贾宇,高鹏翔,李惠

(广西金川有色金属有限公司,广西防城港538002)

**[摘要]**渣包转运是将冶炼炉中的热炉渣装入渣包后,用渣包车运送到渣缓冷场进行冷却,另外将冷却后的渣包运送到倒渣口倒渣的过程。该渣包处理过程存在作业环境光线不足、温度过高和扬灰等环境问题,同时存在较大的人工作业风险。随着智能化和5G技术的发展,实现冶炼厂远程渣包转运逐步具备了技术条件,具有较大的应用市场和重要安全意义。远程驾驶是今后冶炼厂热熔渣转运的主流方向,本文基于机器学习技术升级改造渣包转运车的作业过程,利用远程驾驶技术实现渣包车的超视距驾驶,降低了渣包转运作业的风险,改善了作业人员的工作环境,为提升冶炼生产全流程的自动化与智能化水平奠定了基础,具有工程应用价值。

**[关键词]**远程驾驶;机器学习;渣包转运;多源信息融合;车联网

**[中图分类号]** TF813

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1003-8884(2025)05-0079-05

**DOI:** 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2025.05.011

## 0 引言

随着智慧化技术的发展和企业对其认识不断加深,越来越多的企业已在考虑智能化应用场景。目前,在国内冶炼行业中,渣包车的运输作业仍普遍依赖人工驾驶,存在作业环境恶劣、劳动强度和安全风险高等问题,进而制约了整条生产线的自动化水平和生产效率。鉴于铜渣场区域相对封闭,具备远程驾驶渣包车实施条件,本文通过智能技术打造“互联网+”的产业生产体系,基于机器学习技术升级改造渣包车,通过分析远程渣包车应用技术的要求及特点,利用自动驾驶、5G通讯、激光雷达、RTK差分定位系统等技术,以实现渣包车的超视距驾驶。

## 1 总体方案

渣包车转运作业是冶炼生产中的关键物流环节,其作业可以划分为3个步骤:1)渣包车运送空

渣包至冶炼炉卸渣口,将装满炉渣的渣包运送到渣缓冷场;2)渣包车将渣缓冷场的冷渣包运送到破碎场的倒渣口;3)冶炼车间炉渣转运和缓冷场倒渣转运联合作业,即渣包车从冶炼车间转运完炉渣后,直接在渣缓冷场将冷却好的渣包运送至倒渣口倒渣。

为实现上述作业流程的自动化与智能化,远程驾驶渣包车应用的基本需求有:1)实现单个远程驾驶渣包车精准作业功能;2)远程驾驶渣包车具备炉渣称重功能;3)远程驾驶渣包车调度平台和冶炼车间管理系统互联;4)实现多车调度。根据作业流程和需要,将总体方案分为远程驾驶渣包车控制系统、非视距控制舱系统、云平台管理系统和接入设备组成。

### 1.1 硬件介绍

驾驶渣包车从停车场出发转运冶炼车间渣包的作业过程,如图1所示。渣包车在停车场接收到炉渣转运指令后,行驶到渣缓冷场空渣包位抓取空渣

[收稿日期] 2025-06-30

[第一作者] 贾宇(1989—),男,辽宁营口人,机械工程师,大学本科,主要从事智能渣缓冷场研究。

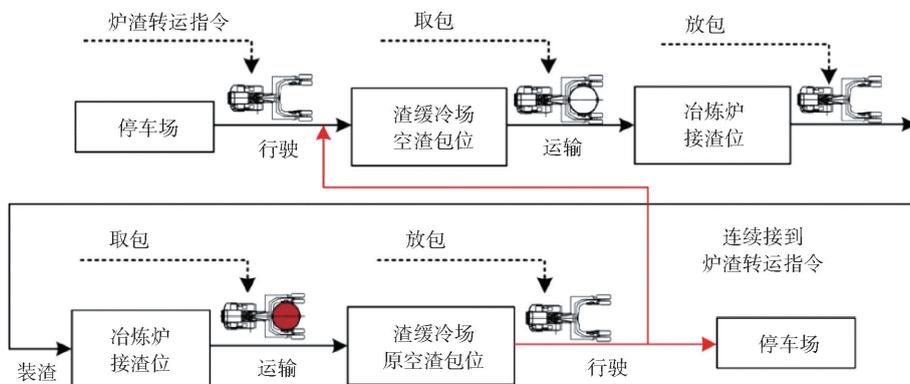


图 1 渣包车从停车场出发转运冶炼车间渣包过程

Fig.1 Process of a slag pot carrier transporting slag from the smelting workshop

包;然后将空渣包运输到冶炼炉卸料口装料位置;待装满热炉渣后,渣包车抓取装满热炉渣的渣包运输到渣缓冷场;运输完毕后,渣包车如果接到下一个运输指令,则重复工作,否则行驶回停车区。

根据渣包车典型的作业流程分析,将整体方案设计为远程驾驶渣包车控制系统、非视距控制舱系统、辅助驾驶系统和云平台管理系统四大部分。远程驾驶渣包车控制系统主要负责与渣包车辆硬件进行交互,并车载通过物联感知技术,视觉识别技术采集作业场所环境数据,并与运行的渣包车通过工业 CAN 总线对接,获取渣包车车辆运行数据和运行状态,构建 5G 通讯网络,进行控制信息数据相互传输,通过相关控制器转换控制信号,达到控制远程驾驶渣包车辆的功能。

远程辅助驾驶系统基于图像处理、车辆检测、车道线识别、无线通讯等技术,通过主动安全预警系统、盲区监测预警系统等硬件设备,实现对车辆的实时安全预警,并通过 5G 通讯网络将行车过程中采集前碰撞报警、车道偏离报警、行人碰撞报警、安全车距预警等报警信息和视频图像上传至云端,达到远程监管和统计分析的目的,有效提升辅助驾驶车辆水平,防范事故于未然。

远程驾驶渣包车的舱端远程操控系统实现对远程车辆进行实时在线监控,控制远程驾驶渣包车辆,实现驾驶舱环境视角监控、舱端作业管理等功能。同时满足“一舱多控”的需求,对操作员进行智能辅助。云平台管理系统管理车辆及人员信息,同时实现了在舱端及车载端初始化通信联络时消息转发及网络安全验证。

## 1.2 软件介绍

远程驾驶渣包车的软件系统主要由 I/O 层、应用接口层和逻辑功能层组成。其中,I/O 层负责与逻辑层、基础层之间的数据接收和数据下发,接收采集到的车辆状态、视频信号及环境感知数据进行处理,下发视频信号、远程控制信号到逻辑层进行加工。逻辑层通过基础层网络化虚拟化后的数据和信息作为输入内容,对信息进行分析与管理。应用接口层封装了车端、舱端及服务器端的接口。

## 2 辅助驾驶系统

### 2.1 多传感器融合定位技术

远程驾驶渣包车的辅助驾驶系统包含环境感知技术、智能决策技术、控制执行技术、高精地图与高精度定位技术等,因此,针对车辆上全部类型的传感器组件,包括之前使用的惯性测量单元、全球定位系统的输入以及摄像头、毫米波雷达等其他传感器的输入,本项目采用 GNSS + Lidar + IMU 多传感器融合定位技术,利用多传感器信息通过滤波器进行融合,进行优势互补。

在多传感器融合算法上,目前多采用扩展卡尔曼滤波算法,利用非线性函数的局部性特性将非线性模型局部化,再利用卡尔曼滤波算法完成滤波跟踪,最后将系统的非线性函数进行一阶 Taylor 展开,得到线性化的系统方程。

### 2.2 远程驾驶渣包车视觉导航

车辆的自动驾驶大多采取计算机视觉导航技术实现,应用的主要算法如下。

1) 车道线检测算法,在远程驾驶渣包车轨迹跟

踪控制系统中,车道线检测算法是视觉导航的根本,其通过一定的图像处理手段,从车载摄像机获得的实时图像中提取车道线边缘特征,并通过提取的车道线进行车道分割、计算道路的曲率与车道宽度,从而确定车辆的可行驶区域和车辆在车道中的位置信息,为远程驾驶渣包车的轨迹跟踪提供决策依据。

2) 图像预处理算法,车道线检测模块采集的道路图像为摄像机在自然环境下拍摄所得,而在图像采集及传输过程中存在较大噪声干扰,对图像的品质会造成严重影响。为了减少噪声的干扰,需要对原始图像进行预处理。

3) 车道线边缘点集检测,摄像机采集的原始图像经图像预处理后,车道线呈现为灰度变化明显的曲线,可将其作为车道线边缘信息,边缘检测是车道线检测中的重要环节。

### 3 云平台管理系统

#### 3.1 车辆管理及任务调度

云平台通过 Web 端管理设备、车辆等相关信息,根据车辆作业状态,实时显示车辆当前作业任务。依次进行:1) 任务前准备;2) 接渣渣包车作业(抱空罐);3) 接渣渣包车作业(放空罐);4) 接渣渣包车作业(抱满罐);5) 运渣渣包车作业;6) 翻包渣包车作业(抱满罐);7) 翻包渣包车作业(倒罐);8) 翻包渣包车作业(放空罐)。通过传感器信息激发任务指派,并通过云平台调配车辆进行相应的作业,实时显示车辆状态。

#### 3.2 地图编辑标注

厂区的高精度地图制作主要包括原始数据采集、地图制作及编译与发布 3 个部分,具体制作流程如下。1) 原始数据采集。在高精度地图采集的业务中,原始数据的采集一般包括采集任务的下达、任务的分配与数据准备、外业采集设备的准备、数据采集和整理、数据的检查及最终的数据存盘等一系列流程。2) 地图制作。原始数据采集完成后,即可从云端下载数据,通过特征识别、特征去重和特征融合等操作,进行地图制作。3) 编译与发布。经过上述高精度地图的外业采集以及地图制作的一系列复杂的地图制作流程后,高精度地图就可完成编译与发布。

## 4 渣包车控制系统

### 4.1 远程驾驶控制策略

远程驾驶车辆控制过程中需要考虑车辆运动学的运动规律和车辆动力学的特性。如果控制阶段的车辆模型的构造能够考虑车辆运动学和动力学约束,那么车辆的控制效果会更好。在建立车辆模型控制算法时,必须根据远程驾驶车辆的具体行驶道路工况,通过选取先骨干的控制变量建立运动学和动力学两种模型。车辆的实际运动状态十分复杂,精确描述需要庞大维度的变量组合,但是控制算法的实时性是需要考虑的实车使用的关键要素。

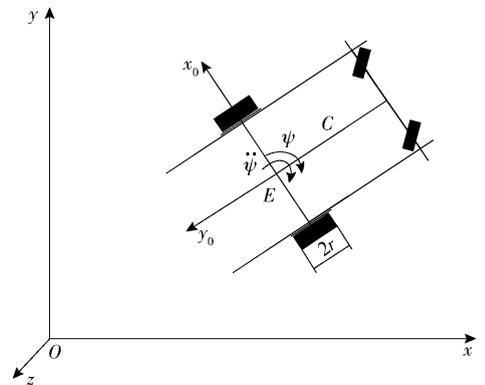


图 2 渣包车运动学示意

Fig. 2 Kinematic diagram of the slag pot carrier

车辆控制系统的输入为轨迹线参考、定位信息、地图信息、车辆反馈信息等,输出为油门、刹车、方向盘的控制量。基于前文推导的运动学模型,利用渣包车的差速驱动实现其在厂区的平面运动,根据运动模型可得到驱动轮速度与渣包车在地图上的行走路线和速度的关系,根据轨迹线参考、定位信息、地图信息、车辆反馈信息等,提前计算运行过程中,两驱动轮的速度输出,并通过运动学反解计算油门与方向盘的驱动电机的速度,最后根据实施信息反馈,通过刹车电机的速度输出调节系统的误差,实现渣包车的运动控制。

### 4.2 车载端控制系统

渣包车控制系统的核心功能是利用物联传感技术的传感器采集环境数据和车辆运行数据、车辆作业数据,通过通讯模组发送给边缘计算盒子,经过边缘计算盒子计算之后,反馈给控制器,控制器对车辆进行控制操作。

车端子系统主要包括激光雷达、车端高精度摄像头、毫米波雷达、车端控制器等。其中,传感器、摄像头作用是采集目标车辆的环境位置信息、运动状态、周围画面等信息,车身执行器作用为接收执行操控指令。

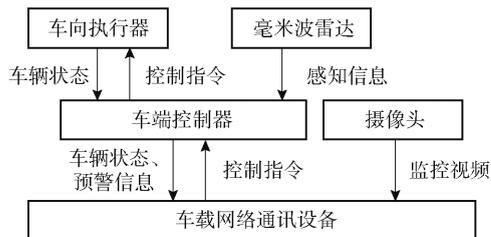


图3 车端控制系统工作原理

Fig.3 Schematic diagram of the on-board control system

## 5 安全防护保障

### 5.1 主动碰撞预警

在车辆四周安装毫米波雷达,操作人员可在舱端看到扫描到的物体点云图像,及时通过摄像头观察车辆周边障碍物情况。

主动安全按照四级预警策略,1~3级预警通过图形界面反馈到舱端操作员,通过声光报警的形式提醒操作员;第2级、第3级预警在未发现任何舱端措施指令时由车端控制器对车辆执行指令进行弱干预,如减速、限制转向等;第4级为未发现任何舱端措施指令时由车端控制器接管车辆,根据态势制订决策指令并发送执行强制停车。

在控制室端显示面板上,本设计通过可视化雷达图将四级策略直观表达,操作员可以方便地获取驾驶安全状态,如图4所示。

### 5.2 被动碰撞预警

在作业区域边界设置电子光栅,当有人或车辆闯入作业区域时,电子光栅立即发出报警信号。收到此报警信号后,车端立即停车,操控端发出报警信号。车端实时监控与操控端的通信状态,如果通信出现故障,则立即停车。车辆发生一般故障时,不必停车,操控端发出报警信号,提醒操作人员注意。

## 6 结语

针对当前冶炼行业渣包车转运作业普遍依赖人工驾驶,存在作业环境恶劣、安全风险高、劳动强度

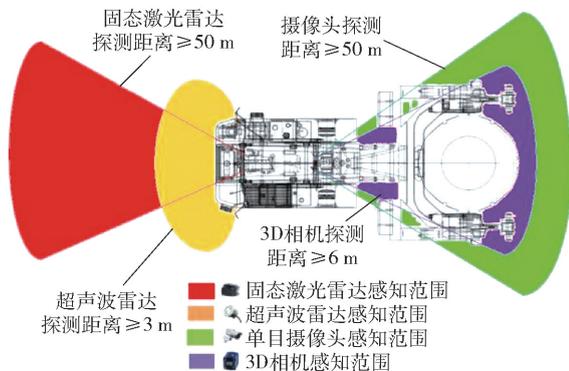


图4 控制舱行车安全雷达示意图

Fig.4 Schematic of the safety radar system in the control cabin

大,制约生产自动化水平与效率等问题。

本文通过将渣包车升级改造为远程驾驶渣包车,研发渣包转运作业过程的管理系统,对涉及的渣包车控制系统、非视距控制舱系统、云平台管理系统关键技术进行分析,并基于多传感器信息融合的机器学习实现了渣包车超视距远程驾驶,

研究表明,本文所提出的远程驾驶解决方案是可行且有效的。该研究不仅为解决冶炼行业物料转运的自动化瓶颈问题提供了有效技术路径,也为未来渣包车驾驶实现全过程智能化、无人化奠定了坚实的基础,具有工程应用价值和推广前景。

#### [参考文献]

- [1] 马浩然. 人工智能技术在远程驾驶汽车领域的应用分析[J]. 通讯世界, 2018(9): 230-231.
- [2] 田国强. 人工智能技术在远程驾驶汽车领域的应用研究[J]. 江苏科技信息, 2017(14): 56-57.
- [3] 于志国. 人工智能在汽车驾驶技术领域的应用与发展[J]. 内燃机与配件, 2020(7): 222-223.
- [4] 潘峰. 基于驾驶员行为特性的远程驾驶汽车控制方法研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2021.
- [5] 面向无人驾驶车辆行为决策的知识库管理系统研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2020.
- [6] 王袖然. 人工智能技术在车辆无人驾驶中的应用[J]. 科技资讯, 2019, 17(13): 63-65.
- [7] 陈静, 朱鹏兴. 人工智能技术在无人驾驶汽车领域的应用探讨[J]. 汽车与驾驶维修(维修版), 2019(1): 71-72.
- [8] 罗宏. 人工智能技术在车辆远程驾驶中的应用[J]. 时代汽车, 2021(17): 190-191.
- [9] 徐祥运, 赵燕楠. 远程驾驶汽车技术的社会影响及其应

- 对策略[J]. 学术交流, 2021(3): 134 - 148, 192.
- [10] 王科俊, 赵彦东, 邢向磊. 深度学习在远程驾驶汽车领域应用的研究进展[J]. 智能系统学报, 2018, 13(1): 55 - 69.
- [11] 张新钰, 高洪波, 赵建辉, 等. 基于深度学习的自动驾驶技术综述[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2018, 58(4): 438 - 444.
- [12] 左思翔. 基于深度强化学习的远程驾驶智能决策控制研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.

## Research on application of machine learning based unmanned slag chartering in a copper smelting enterprise in Guangxi

JIA Yu, GAO Pengxiang, LI Hui

(Guangxi Jinchuan Non-ferrous Metals Co., Ltd., Fangchenggang 538002, China)

**Abstract:** Slag pot transportation in smelting plants, which involves moving hot molten slag from furnaces to cooling yards and subsequently transporting cooled slag to dumping stations, is traditionally plagued by harsh operating conditions such as poor lighting, high temperatures, and high dust concentrations. These conditions pose significant manual operational risks. The advent of intelligent and 5G technologies has created the technical prerequisites for remote slag pot transportation, presenting substantial market potential and critical safety significance. As teleoperation represents the future trend for hot slag handling, this paper presents the retrofitting of a slag pot carrier's operational process based on machine learning. By leveraging remote driving technology, we achieve beyond-visual-line-of-sight (BVLOS) operation of the carrier, thereby mitigating operational risks and improving the working environment for personnel. The study lays a solid foundation for enhancing the automation and intelligence of the entire smelting production process and demonstrates significant engineering application value.

**Keywords:** remote driving; machine learning; slag pot transportation; multi-source information fusion; vehicle networking ▲